

Linguagem de Programação

Recursão II

Alexandre Mello

Fatec Campinas

2023

Roteiro

- 1 Recursão – Relembrando
- 2 Cálculo de Potências
- 3 Torres de Hanoi
- 4 Recursão e Backtracking
- 5 Exercício

Recursão - Relembrando



- Definições recursivas de funções são baseadas no *princípio matemático da indução* que vimos anteriormente.
- A idéia é que a solução de um problema pode ser expressa da seguinte forma:
 - ▶ Definimos a solução para os casos básicos;
 - ▶ Definimos como resolver o problema geral utilizando soluções do mesmo problema só que para casos menores.

Cálculo de Potências

Suponha que temos que calcular x^n para n inteiro positivo. Como calcular de forma recursiva?

x^n é:

- 1 se $n = 0$.
- xx^{n-1} caso contrário.

Cálculo de Potências

```
long pot(long x, long n){  
    if(n == 0)  
        return 1;  
    else  
        return x*pot(x,n-1);  
}
```

Cálculo de Potências

Neste caso a solução iterativa é mais eficiente.

```
long pot(long x, long n){  
    long p = 1, i;  
    for( i=1; i<=n; i++)  
        p = p * x;  
    return p;  
}
```

- O laço é executado n vezes.
- Na solução recursiva são feitas n chamadas recursivas, mas tem-se o custo adicional para criação/remoção de variáveis locais na pilha.

Cálculo de Potências

Mas e se definirmos a potência de forma diferente?

x^n é:

- Caso básico:
 - ▶ Se $n = 0$ então $x^n = 1$.
- Caso Geral:
 - ▶ Se $n > 0$ e é par, então $x^n = (x^{n/2})^2$.
 - ▶ Se $n > 0$ e é ímpar, então $x^n = x(x^{(n-1)/2})^2$.

Note que aqui também definimos a solução do caso maior em termos de casos menores.

Cálculo de Potências

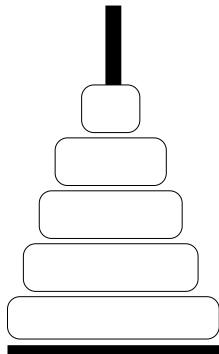
Este algoritmo é mais eficiente do que o iterativo. Por que? Quantas chamadas recursivas o algoritmo pode fazer?

```
long pot(long x, long n){  
    double aux;  
    if(n == 0)  
        return 1;  
  
    else if(n%2 == 0){ //se n é par  
        aux = pot(x, n/2);  
        return aux * aux;  
    }  
  
    else{ //se n é impar  
        aux = pot(x, (n-1)/2);  
        return x*aux*aux;  
    }  
}
```

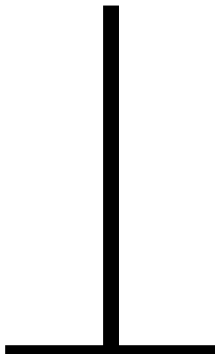

Cálculo de Potências

- No algoritmo anterior, a cada chamada recursiva o valor de n é dividido por 2. Ou seja, a cada chamada recursiva, o valor de n decai para pelo menos a metade.
- Usando divisões inteiras faremos no máximo $\lceil (\log_2 n) \rceil + 1$ chamadas recursivas.
- Enquanto isso, o algoritmo iterativo executa o laço n vezes.

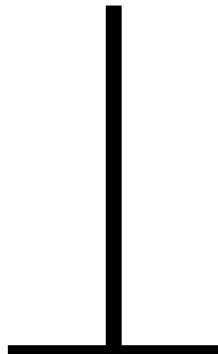
Torres de Hanoi



A



B



C

Torres de Hanoi

- Inicialmente temos 5 discos de diâmetros diferentes na estaca A.
- O problema das torres de Hanoi consiste em transferir os cinco discos da estaca A para a estaca C (pode-se usar a estaca B como auxiliar).
- Porém deve-se respeitar as seguintes regras:
 - ▶ Apenas o disco do topo de uma estaca pode ser movido.
 - ▶ Nunca um disco de diâmetro maior pode ficar sobre um disco de diâmetro menor.

Torres de Hanoi

- Vamos considerar o problema geral onde há n discos.
- Vamos usar indução para obtermos um algoritmo para este problema.

Torres de Hanoi

Teorema

É possível resolver o problema das torres de Hanoi com n discos.

Prova.

- Base da Indução: $n = 1$. Neste caso temos apenas um disco. Basta mover este disco da estaca A para a estaca C.
- Hipótese de Indução: Sabemos como resolver o problema quando há $n - 1$ discos.

□

Torres de Hanoi

Prova.

- Passo de Indução: Devemos resolver o problema para n discos assumindo que sabemos resolver o problema com $n - 1$ discos.
 - ▶ Por hipótese de indução sabemos mover os $n - 1$ primeiros discos da estaca **A** para a estaca **B** usando a estaca **C** como auxiliar.
 - ▶ Depois de movermos estes $n - 1$ discos, movemos o maior disco (que continua na estaca **A**) para a estaca **C**.
 - ▶ Novamente pela hipótese de indução sabemos mover os $n - 1$ discos da estaca **B** para a estaca **C** usando a estaca **A** como auxiliar.
- Com isso temos uma solução para o caso onde há n discos.

□

Torres de Hanoi: Passo de Indução

- A indução nos fornece um algoritmo e ainda por cima temos uma demonstração formal de que ele funciona!

Torres de Hanoi: Algoritmo

Problema: Mover n discos de **A** para **C**.

- 1 Se $n = 1$ então mova o único disco de **A** para **C** e pare.
- 2 Caso contrário ($n > 1$) desloque de forma recursiva os $n - 1$ primeiros discos de **A** para **B**, usando **C** como auxiliar.
- 3 Mova o último disco de **A** para **C**.
- 4 Mova, de forma recursiva, os $n - 1$ discos de **B** para **C**, usando **A** como auxiliar.

Torres de Hanoi: Algoritmo

- A função que computa a solução em C terá o seguinte protótipo:

```
void hanoi(int n, char estacaIni, char estacaFim, char estacaAux);
```

- É passado como parâmetro o número de discos a ser movido (**n**), e um caracter indicando de onde os discos serão movidos (**estacaIni**); para onde devem ser movidos (**estacaFim**); e qual é a estaca auxiliar (**estacaAux**).

Torres de Hanoi: Algoritmo

A função que computa a solução é:

```
void hanoi(int n, char estacaIni, char estacaFim, char estacaAux){
    if(n==1) //Caso base. Move único disco do Ini para Fim
        printf("\nMova disco %d da estaca %c para %c.", n, estacaIni, estacaFim);
    else{
        //Move n-1 discos de Ini para Aux com Fim como auxiliar
        hanoi(n-1, estacaIni, estacaAux, estacaFim);

        //Move maior disco para Fim
        printf("\nMova disco %d da estaca %c para %c.", n, estacaIni, estacaFim);

        //Move n-1 discos de Aux para Fim com Ini como auxiliar
        hanoi(n-1, estacaAux, estacaFim, estacaIni);
    }
}
```

Torres de Hanoi: Algoritmo

```
#include <stdio.h>

void hanoi(int n, char estacaIni, char estacaFim, char estacaAux);

int main(){
    hanoi(4, 'A', 'C', 'B');
    printf("\n");
}

// Discos são numerados de 1 até n

void hanoi(int n, char estacaIni, char estacaFim, char estacaAux){
    if(n==1)
        printf("\nMova disco %d da estaca %c para %c.", n, estacaIni, estacaFim);
    else{
        hanoi(n-1, estacaIni, estacaAux, estacaFim);
        printf("\nMova disco %d da estaca %c para %c.", n, estacaIni, estacaFim);
        hanoi(n-1, estacaAux, estacaFim, estacaIni);
    }
}
```

Recursão e Backtracking

- Muitos problemas podem ser resolvidos enumerando-se de forma sistemática todas as possibilidades de arranjos que formam uma solução para um problema.
- Vimos em aulas anteriores o seguinte exemplo: Determinar todas as soluções inteiras de um sistema linear como:

$$x_1 + x_2 + x_3 = C$$

com $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$, $C \geq 0$ e todos inteiros.

Para cada possível valor de x_1 entre 0 e C

Para cada possível valor de x_2 entre 0 e $C - x_1$

Faça $x_3 = C - (x_1 + x_2)$

Imprima solução $x_1 + x_2 + x_3 = C$

Recursão e Backtracking

Abaixo temos o código de uma solução para o problema com $n = 3$ variáveis e constante C passada como parâmetro.

```
void solution(int C){
    int x1, x2, x3;

    for(x1=0; x1 <= C; x1++){
        for(x2=0; x2 <= C-x1; x2++){
            x3 = C -x1 -x2;
            printf("%d + %d + %d = %d\n", x1, x2, x3, C);
        }
    }
}
```

Recursão e Backtracking

Como resolver este problema para o caso geral, onde n e C são parâmetros?

$$x_1 + x_2 + \dots + x_{n-1} + x_n = C$$

- A princípio deveríamos ter $n - 1$ laços encaixados.
- Mas não sabemos o valor de n . Só saberemos durante a execução do programa.

Recursão e Backtracking

- A técnica de recursão pode nos ajudar a lidar com este problema:
 - ▶ Construir uma função com um único laço e que recebe uma variável k como parâmetro.
 - ▶ A variável k indica que estamos setando os possíveis valores de x_k .
 - ▶ Para cada valor de x_k devemos setar o valor de x_{k+1} de forma recursiva!
 - ▶ Se $k == n$ basta setar o valor da última variável.

Recursão e Backtracking

```
função solution(n, C, k){  
  Se k == n Então  
     $x_n = C - x_1 - \dots - x_{n-1}$   
    Imprima solução  
  Senão  
    Para cada valor V entre 0 e  $(C - x_1 - \dots - x_{k-1})$  faça  
       $x_k = V$   
      solution(n, C, k+1) //Vamos setar os possíveis valores da var. x seguinte  
}
```


Recursão e Backtracking

- Em C teremos uma função com o seguinte protótipo:

```
void solution(int n, int C, int k, int R, int x[])
```

- A variável R terá o valor da constante C menos os valores já setados para variáveis em chamadas recursivas anteriores, i.e,
$$R = C - x_1 - \dots - x_{k-1}.$$
- O vetor x corresponde aos valores das variáveis.
 - ▶ Lembre-se que em C o vetor começa na posição 0, por isso as variáveis serão $x[0], \dots, x[n-1]$.

Recursão e Backtracking

- Primeiramente temos o caso de parada (quando $k == n - 1$):

```
void solution(int n, int C, int k, int R, int x[]){
    if(k == n-1){
        int i;
        //imprimindo a solução
        for(i=0; i<= n-2; i++){
            printf("%d + ", x[i]);
        }
        printf("%d = %d\n", R, C); //R é o valor de x[n-1]
        return;
    }
    .
    .
    .
}
```

Recursão e Backtracking

- A função completa é:

```
void solution(int n, int C, int k, int R, int x[]){
    if(k == n-1){
        int i;
        for(i=0; i<= n-2; i++){
            printf("%d + ", x[i]);
        }
        printf("%d = %d\n", R, C);
        return;
    }

    for(x[k]=0; x[k]<=R; x[k]++){
        solution(n, C, k+1, R-x[k], x);
    }
}
```

A chamada inicial da função deve ter $k = 0$.

Recursão e Backtracking

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

void solution(int n, int C, int k, int R, int x[]);

int main(int argc, char *argv[]){
    if(argc != 3){
        printf("Execute informando n (num. de vari.) e C (constante int. positiva)\n");
        return 0;
    }
    int n = atoi(argv[1]);
    int C = atoi(argv[2]);
    int *x = malloc(n * sizeof(int));
    solution(n, C, 0, C, x);
    free(x);
}

void solution(int n, int C, int k, int R, int x[]){
    if(k == n-1){
        int i;
        for(i=0; i<= n-2; i++){
            printf("%d + ", x[i]);
        }
        printf("%d = %d\n", R, C);
        return;
    }
    for(x[k]=0; x[k]<=R; x[k]++){
        solution(n, C, k+1, R-x[k], x);
    }
}
```

Exercício

- Defina de forma recursiva a busca binária.
- Escreva um algoritmo recursivo para a busca binária.

Exercício

- Escreva um programa que lê uma string do teclado e então imprime todas as permutações desta palavra. Se por exemplo for digitado "abca" o seu programa deveria imprimir: aabc aacb abac abca acab acba baac baca bcaa caab caba cbaa